

Лекция 7. Усилители постоянного тока. Операционные усилители. Обратные связи в усилителях. Режимы работы в ОУ. Линейный и нелинейный режимы работы ОУ.

Усилителями постоянного тока (УПТ) называют такие устройства, которые могут усиливать медленно изменяющиеся электрические сигналы, то есть они способны усиливать и переменные и постоянные составляющие входного сигнала. Таким образом, для осуществления передачи сигналов частот, близких к нулю, в УПТ используется непосредственная (гальваническая) связь. Непосредственная связь может быть использована и в обычных усилителях переменного тока с целью уменьшения числа элементов, простоты реализации в интегральном исполнении, стабильности смещения и т.д. Однако такая связь вносит в усилитель ряд специфических особенностей, затрудняющих как его выполнение, так и эксплуатацию. Хорошо передавая медленные изменения сигнала, непосредственная связь затрудняет установку нужного режима покоя для каждого каскада и обуславливает нестабильность их работы.

При разработке УПТ приходится решать две основные проблемы: согласование потенциальных уровней в соседних каскадах и уменьшение дрейфа (нестабильности) выходного уровня напряжения или тока.

Характерным свойством УПТ является дрейф нуля. Под дрейфом нуля понимают самопроизвольное изменение выходного напряжения при неизменном нулевом входном под действием влияния внешней среды (изменений температуры, питающего напряжения, старения электронных элементов).

Основными методами снижения дрейфа являются жесткая стабилизация источников питания усилителей, использование отрицательных обратных связей, применение балансных компенсационных схем УПТ, использование элементов с нелинейной зависимостью параметров от температуры.

Для устранения отмеченных недостатков УПТ строят в виде параллельно-балансных каскадов, представляющих собой сбалансированный мост, который можно назвать дифференциальным усилителем.

Усилители постоянного тока, имеют равную АЧХ до самых низких частот.

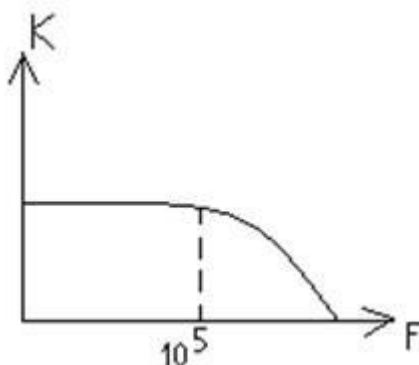


Рис. 7.1 - АЧХ усилителей постоянного тока

В многокаскадных УПТ не могут быть использованы реактивные элементы связи (R , C). Спад АЧХ в области ВЧ появляется за счет паразитных емкостей каскадов, также как и в усилителе с RC связями.

А) УПТ компенсационные с 1 источника питания.

Б) Компенсационные УПТ с 2-мя источниками питания

По принципу действия усилители постоянного тока подразделяются на:

1) УПТ с преобразованием спектра сигнала.

2) УПТ без преобразования.

Преимущество усилителей с преобразованием спектра перед усилителями без преобразования – меньшее значение дрейфа нулевого уровня.

Недостаток – принципиальное ограничение полосы пропускания усилителя сверху.

Операционный усилитель (ОУ) – это усилитель постоянного тока, имеющий большой коэффициент усиления в широком диапазоне частот (от 0 до десятков МГц), выполненный по интегральной технологии. ОУ позволяет реализовать усилительные устройства, приближающиеся по свойствам к идеальным усилителям, и поэтому относится к универсальным электронным схемам, на основе которых строят разнообразные функциональные узлы.

Операционный усилитель (ОУ) предназначен для выполнения математических операций в аналоговых вычислительных машинах. Первый ламповый ОУ K2W был разработан в 1942 году Л.Джули (США). Он содержал два двойных электровакуумных триода. Первые ОУ представляли собой громоздкие и дорогие устройства. С заменой ламп транзисторами операционные усилители стали меньше, дешевле, надежнее, и сфера их применения расширилась. Первые операционные усилители на транзисторах появились в продаже в 1959 году. Р.Малтер (США) разработал ОУ Р2, включавший семь германиевых транзисторов и варикапный мостик. Требования к увеличению надежности, улучшению характеристик, снижению стоимости и размеров способствовали развитию интегральных микросхем, которые были изобретены в лаборатории фирмы Texas Instruments (США) в 1958 г. Первый интегральный ОУ μ A702, имевший рыночный успех, был разработан Р.Уидларом (США) в 1963 году. В настоящее время номенклатура ОУ насчитывает сотни наименований. Операционные усилители выпускаются в малогабаритных корпусах и очень дешевы, что способствует их массовому распространению.

Преобразование сигнала схемой на ОУ почти исключительно определяется свойствами цепей обратных связей усилителя и отличается высокой стабильностью и воспроизводимостью. Кроме того, благодаря практически идеальным характеристикам ОУ реализация различных электронных схем на их основе оказывается значительно проще, чем на отдельных транзисторах. Поэтому операционные усилители почти полностью вытеснили отдельные транзисторы в качестве элементов схем ("кирпичиков") во многих областях аналоговой схемотехники.

Особенности схемотехники ОУ определяются тем, что в его схеме используются лучшие схемные решения усилительных устройств: на входе ОУ – дифференциальный усилительный каскад, используются динамические нагрузки, схемы источников тока, токовое зеркало, эмиттерные повторители на выходе (рисунок 7.2).

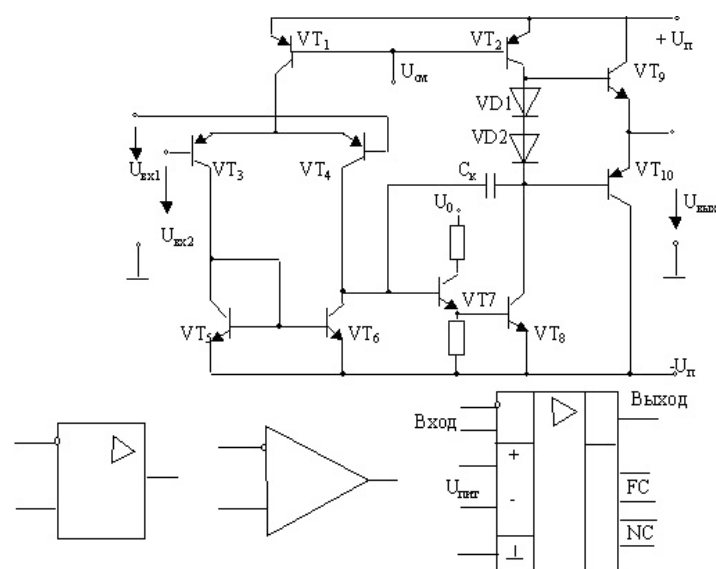


Рисунок 7.2 – Упрощенная структурная схема ОУ и варианты графических изображений ОУ

Входной каскад его выполняется в виде дифференциального усилителя, так что операционный усилитель имеет два входа - неинвертирующий и инвертирующий. Два входа ОУ - Инвертирующий и Неинвертирующий названы так по присущим им свойствам. Если подать сигнал на Инвертирующий вход, то на выходе мы получим инвертированный сигнал, то бишь сдвинутый по фазе на 180 градусов - зеркальный; если же подать сигнал на Неинвертирующий вход, то на выходе мы получим фазово не измененный сигнал.

Классификация операционных усилителей. Номенклатура операционных усилителей, выпускаемых в настоящее время, очень обширна. В зависимости от назначения ОУ разделяют на следующие группы.

1. ОУ общего назначения, предназначенные для использования в аппаратуре, где к параметрам усилителей не предъявляют жестких требований.
2. Прецизионные ОУ, имеющие малый уровень собственных шумов, а также высокий коэффициент усиления.
3. Быстродействующие ОУ, имеющие высокую скорость изменения выходного напряжения (200–500 В/мкс). Такие ОУ используются для построения импульсных и широкополосных устройств.
4. Микромощные ОУ, потребляющие малые токи от источника питания (менее 1 мА). Такие усилители используют в портативной аппаратуре.

Операционные усилители стали наиболее массовыми активными приборами современной аналоговой схемотехники. Промышленность выпускает сотни типов ОУ с различными характеристиками. В линейных устройствах ОУ используются с глубокой отрицательной обратной связью. При этом параметры реализуемых схем практически полностью определяются цепью обратной связи. Используют ОУ и для реализации нелинейных устройств (компараторов, триггеров Шмитта, генераторов сигналов различной формы).

Операционный усилитель почти всегда охвачен *глубокой отрицательной обратной связью*, свойства которой и определяют свойства схемы с ОУ.

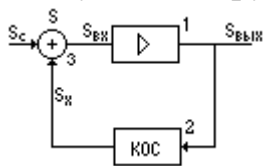
ОУ имеет три основных свойства:

1. Очень высокое сопротивление входа,
2. Очень высокий коэффициент усиления (1 000 000 и более),
3. Очень низкое сопротивление выхода.

Еще один очень важный параметр ОУ называется скорость нарастания напряжения на выходе. Обозначает он фактически быстродействие данного ОУ - как быстро он сможет изменить напряжение на выходе при изменении оно на входе. Измеряется этот параметр в вольтах в секунду (В/сек). Этот параметр важен прежде всего для товарищей, конструирующих УЗЧ, поскольку, если ОУ недостаточно быстрый, то он не будет успевать за входным напряжением на высоких частотах и возникнут изрядные нелинейные искажения. У большинства современных ОУ общего назначения скорость нарастания сигнала от 10В/мксек и выше. У быстродействующих ОУ этот параметр может достигать значения 1000В/мксек. ОУ охваченный отрицательной обратной связью поддерживает одинаковые значения напряжения на своих входах.

Обратная связь – передача сигнала с выхода устройства на его вход.

Усилитель, охваченный обратной связью можно представить в виде следующей структурной схемы:



1 – собственный усилитель

2 – канал обратной связи /КОС/

3 – геометрическое суммирование сигналов источника и обратной связи

Если ОС охватывает усилитель в целом, то её называют общей, если – часть, то её называют местной.

1 и 2 образуют петлю обратной связи.

Если 1,2 образуют замкнутую петлю по постоянному току, то такая обратная связь называется обратной связью по постоянному току.

Если 1,2 образуют замкнутую петлю по переменному току, то такая обратная связь называется обратной связью по переменному току.

Если 1,2 образуют замкнутую петлю по постоянному и переменному току, то такая обратная связь называется обратной связью по постоянному и переменному току.

Обратная связь называется паразитной, если КОС образован паразитными связями между элементами.

Обратная связь называется частотнонезависимой, если КОС образован не зависит от частоты, иначе – частотнозависимым.

Обратная связь называется положительной, если сигнал источника и канал ОС /КОС/ суммируются.

Обратная связь называется отрицательной, если сигнал источника и канал ОС /КОС/ вычитаются.

Под положительной ОС понимают, когда фазовый сдвиг между сигналом источника и КОС близок к нулю. /в переменном токе/.

Под отрицательной ОС понимают, когда разность фаз сигнала источника и КОС близка к π .

В общем случае ОС носит комплексный характер.

В зависимости от того, как снимается сигнал ОС с выхода усилителя, различают:

1. ОС по напряжению, когда сигнал ОС пропорционален выходному напряжению усилителя
2. ОС по току, когда сигнал ОС пропорционален сигналу выходного тока усилителя
3. Смешанная ОС, когда часть ОС пропорциональна выходному напряжению, а часть – току усилителя

В зависимости от того, как вводится ОС во входную цепь усилителя, различают:

1. последовательную ОС, когда суммируются напряжения источника сигнала и КОСа
2. параллельную ОС, когда на входе усилителя суммируются токи источника сигнала и КОС.

Особенности ОУ:

1. Операционный усилитель представляет многокаскадный усилитель напряжения, обладающий большим коэффициентом усиления, высоким входным и малым выходным сопротивлением.

2. Благодаря своей универсальности ОУ стал самым массовым элементом аналоговой схемотехники.

3. На входе ОУ включается дифференциальный усилитель. Это обеспечивает подавление синфазных составляющих во входном сигнале.

4. Смещение транзисторов устанавливается с помощью отражателей тока.

5. В линейных устройствах ОУ используются с глубокой отрицательной обратной связью. При этом параметры реализуемых схем практически полностью определяются цепью обратной связи.